



VALAISTUKSEN ENERGIAMITTA- UKSEN KEHITTÄMINEN

Teemu Uusoksa

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2013
Sähkötekniikka
Talotekniikan
suuntautumisvaihtoehto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Talotekniikan suuntautumisvaihtoehto

UUSOKSA, TEEMU:
Valaistuksen energiamittauksen kehittäminen

Opinnäytetyö 31 sivua, josta liitteitä 0 sivua
Maaliskuu 2013

Valaistuksen osuus rakennusten energiankulutuksesta on noin viidennes, joten säästöpotentiaali on suuri. Valaistuksen energiakulutuksen mittaaminen on tärkeää energian säästöä tavoiteltaessa, koska energian kulutusta seuraamalla osataan tehdä tarvittavia toimenpiteitä energian säästämiseksi.

Opinnäytetyössä tutkittiin valaistuksen energiamittauksista energiatehokkuuden, erinäisten säädösten ja eri valmistajien tarjoamien mittaussovellutusten näkökulmista. Työssä käsiteltiin myös automaation vaikutusta energiatehokkuuteen ja valaistukseen käytettävän energian laskemista. Tavoitteena oli kerätä tietoa valaistuksen energiamittauksesta ja sen nykytilasta.

Työtä tehdessä havaittiin, että koska valaistuksen energiamittaus ei ole pakollista, ja suositeltua vain muissa kuin asuinrakennuksissa, suoraan valaistuksen energiamittaukseen suunniteltuja sovellutuksia on tarjolla vähän. Valaistuksen energiamittaus suoritetaan joko tavallisilla energiamittareilla, joihin on liitetty lisälaite tiedon eteenpäin saatamiseksi, tai osoitteellisten ohjausjärjestelmien avulla. Valaistuksen energiamittaus tulee aina kytkeä rakennusautomaatiojärjestelmään, sillä siten mittaus tietoa voidaan käyttää energiankäyttöraporttien tekemiseen tai valaistuksen tarkoituksenmukaiseen ohjaamiseen.

Asiasanat: valaistus, energiamittaus, energiatehokkuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme of Electrical Engineering
Option of Building Services Engineering

UUSOKSA, TEEMU:
Development of lighting energy measurement

Bachelor's thesis 31 pages, appendices 0 pages
March 2013

Lightings share of energy use in buildings is about a fifth, so the potential for savings is great. Lighting energy measurement is important in the pursuit of energy savings, because by monitoring energy use, necessary actions can be done to save energy.

The purpose of this thesis was to gather information about the current state of lighting energy measurement. The study was made by collecting data of energy efficiency, different regulations and measurement applications from different manufacturers.

The findings indicate that as lighting energy measurement is not required in Finland, and recommended only to non-residential sector, there are very few applications to lighting energy measurement. Lighting energy measurement is done either by using standard energy meters, which are connected to some smart accessory or by addressable lighting control systems. Lighting energy measurement must be connected to the building automation system because in that way measuring data can be used for making energy use reports or appropriate lighting controlling.

Key words: lighting, energy measurement, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ENERGIATEHOKKUUS JA ENERGIAN SÄÄSTÄMINEN	7
2.1	Energiatehokkuus ja energian säästäminen	7
2.2	Energian säästäminen valaistuksessa.....	8
2.3	Valaistuksen energiamittauksen tarpeellisuus	8
2.4	Valaistukseen käytettävän energian säästöpotentiaali	9
3	RAKENNUSTEN AUTOMAATION VAIKUTUS ENERGIATEHOKKUUTEEN	13
3.1	Energiatehokas rakennus	13
3.2	Automaation rooli	14
3.3	Rakennusten automaation energiatehokkuusstandardin mukainen luokitus.....	15
3.4	Automaatiotason valinta	16
3.5	Automaation vaikutus energiankulutukseen kerroinmenetelmällä.....	17
4	VALAISTUKSEEN KÄYTETTÄVÄN ENERGIAN LASKEMINEN.....	19
4.1	Pikalaskentamenetelmä.....	19
4.2	Tarkka laskentamenetelmä.....	20
5	MITEN VALAISTUKSEN ENERGIAN KULUTUSTA MITATAAN	22
5.1	Mittaaminen kWh-mittarilla asennuksen syöttöpisteestä	23
5.2	Mittaaminen ohjausjärjestelmän säätimiin integroiduilla tai niihin kytketyillä paikallisilla tehomittareilla.	24
5.3	Mittaaminen ohjausjärjestelmällä	25
6	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET.....	30

ERITYISSANASTO

BAU	(Business as usual) Kehityksen oletetaan jatkuvan ennallaan ilman uusia toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi.
BAT	(Best available technology) Arvioidaan kulutuksen kehitystä olettaen, että kaikki uudet laitteet ovat parasta mahdollista, energiatehokkainta tekniikkaa.
DALI	(Digital Adressible Lighting Interface) Digitaalinen valaistuksenohjausväylä, protokolla ja standardi.
KNX	KNX on ensimmäinen maailmanlaajuisesti standardoitu väylä kiinteistöautomaatiota varten.
LED	(Light-emitting diode) Valodiodi tai ledi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa kun sen läpi johdetaan sähkövirta.
LENI	(Lightning energy numeric indicator) Rakennuksen vuotuista valaistusenergiaa kuvaava numeerinen luku, joka ilmoitetaan muodossa kilowattituntia neliömetriä kohti vuodessa (kWh/m ² /vuosi).
OPC	(Object linking and embedding for Process Control tai open connectivity via open standards) Avoimen tiedonsiirron standardi, jota käytetään automaatiosovelluksissa PC-valvomoiden ja ohjelmoitavan logiikan välillä siirtämässä tietoa niiden välillä.

1 JOHDANTO

Energiatehokkuus ja energian säästäminen ovat olleet viime vuosina paljon pinnalla. Ihmiset ovat heränneet ajattelemaan energian käyttöä niin luonnon kuin myös taloudellisuuden kannalta. Myös määräykset ja ohjeet kehittyvät energiatehokkaampaan suuntaan.

Valaistuksen osuus rakennusten energiankulutuksesta on noin viidennes. Valonlähteiden ja ohjausjärjestelmien kehittämisellä energiankulutusta voidaan laskea huomattavasti, mutta ilman aktiivista valaistuksen energian mittausta ja monitorointia esimerkiksi valaistuksenohjauksesta ei saada energiansäästökäytössä kaikkea potentiaalia irti.

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ohjeistetaan mittaamaan kiinteän valaistuksen energiankulutus pois lukien asuinrakennukset, mutta lainsäädännössä tai säädöksissä ei ole varsinaisia velvoitteita valaistuksen energianmittaukselle.

Tämän työn tarkoituksena on kerätä tietoa valaistuksen energiamittauksesta energiatehokkuuden, energiankäyttöön liittyvien säädösten, automaatiotason valinnan sekä energiamittaustapojen kautta. Työssä tutkitaan alan julkaisuja, tutkimuksia, säädöksiä ja standardeja, sekä eri valmistajien tarjoamia ratkaisuja erityisesti valaistuksen energiamittaukseen. Työ rajattiin käsittelemään ainoastaan valaistukseen liittyvää energianmittausta.

2 ENERGIA TEHOKKUUS JA ENERGIAN SÄÄSTÄMINEN

2.1 Energiatehokkuus ja energian säästäminen

Energiatehokkuudella tarkoitetaan tietyn tuotteen valmistamista entistä pienemmällä määrällä energiaa. Energiatehokkuuden parantaminen on järkevää, koska siitä on usein taloudellista hyötyä, samalla kun ympäristölle haitalliset päästöt vähenevät. (Ympäristöhallinto 2011.) Energiatehokkuuden ensisijaisena tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen kustannustehokas vähentäminen, minkä lisäksi energiatehokkuutta on edistettävä energiakustannusten alentamiseksi ja energian saatavuuden turvaamiseksi (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012).

Koska rakennusten osuus Euroopan unionin kokonaisenergiankulutuksesta on noin 40 prosenttia, rakennusalaalla energiankulutuksen vähentäminen on tärkeää (2010/31/EU 2010). Suomessa rakennusten energiankulutus vastaa 30 % koko Suomen hiilidioksidipäästöistä (ST 21.32). Suomessa toimeenpantiin vuoden 2008 alussa EU-direktiivi 2002/91/EY säätämällä lait 487/2007 rakennuksen energiatodistuksesta ja 489/2007 rakennusten ilmastointijärjestelmän kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta. Direktiivi on tehty edistämään rakennusten energiatehokkuutta ja tehostamaan energiankäyttöä, joka auttaa vähentämään kasvihuonekaasujen päästöjä EU:n alueella. Direktiivin mukaan rakennusten kokonaisenergiankäyttö on laskettava ja ilmoitettava ennakoon koskien kaikkea energiankulutusta. Direktiivin mukaisesti Suomessa astuivat 1.1.2009 voimaan energiaselvitysmääräykset, eli kaikilta sen piiriin kuuluvilta rakennuksilta vaaditaan energiatodistus. Asennetun tehon käyttö on direktiivin määräyksen mukaan ilmoitettava yksiköllä kWh/m²/vuosi. (Fagerhult 2012, 511.) Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 tarkoittaa energiatehokkuuden vaatimuksia rakennuksen eri osiin ja järjestelmiin. Siinä myös määrätään osoittamaan määräystenmukaisuus tekemällä rakennusta suunniteltaessa energiaselvitys. Energiaselvitykseen sisältyy yleensä rakennuksen E-luku, jäähdytys- ja lämmitystehot, lämpöhäviöiden määräystenmukaisuus sekä rakennuksen energiatodistus (RakMK D3).

2.2 Energian säästäminen valaistuksessa

Valaistuksen energiansäästövaatimukset pohjautuvat energiatehokkuusdirektiiviin 2002/91/EY. Valaistusasennusten tulee täyttää tilaan tai tehtävään asetetut valaistusvaatimukset tai täyttää käyttäjän asettamat valaistuksen todelliset tarpeet tuhlaamatta energiaa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että näkemiseen vaikuttavista tekijöistä tingitään ainoastaan energiankulutuksen vähentämiseksi. Jotta tämä olisi mahdollista, valaistusta suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota luonnon valon hyödyntämiseen, valaistuksen ohjaamiseen läsnäoloperusteisesti sekä käyttämällä täysimääräisesti valaistuksenohjausta. Koska päivänvalon määrä ja suunta vaihtelee päivän mittaan, lisävalaistuksen automaattista tai manuaalista ohjausta tai himmennystä käyttäen voidaan varmistua valaistuksen sopivasta tasosta ympäri vuorokauden ja samalla minimoida energiankulutus. Vakiovalosäädön avulla voidaan myös välttyä tavanmukaisesta valaistuksen n. 20 prosentin ylityksen aiheuttamasta tarpeettomasta energiankulutuksesta. Valaistuksen suunnittelun lähtökohdiksi neuvotaan lisäksi muun muassa uuden tekniikan käyttöönotto (esim. LED-lamput hehku- ja halogeenilamppujen tilalle) sekä tilojen pintojen värimaailman pitäminen vaaleana. (SFS-EN 12464-1; ST 21.32.) Hehkulamppujen poistuminen markkinoilta tapahtuu portaittain Ecodesign-säätelykomitean päätösten mukaan siten, että nyt myynnistä ollaan poistamassa kaikkia yli 45W:n kirkkaita hehkulamppuja ja vuoden 2016 syyskuussa poistetaan myynnistä kaikki yli 7W:n kirkkaat hehkulamput (Fagerhult 2012, 510).

2.3 Valaistuksen energiamittauksen tarpeellisuus

Valaistuksen energiamittaus ei ole ollut Suomessa pakollista, mutta 1.7.2012 voimaantullut rakentamismääräyskokoelma D3 ohjeistaa mittaamaan kiinteän valaistusjärjestelmän sähkönkulutusta muissa kuin 1 ja 2 käyttötarkoitukseluokan rakennuksissa. D3:ssa määrätään kaikkiin rakennuksiin energiankäytön mittaus tai mittausvalmius siten, että rakennuksen eri energiamuotojen käyttö voidaan helposti selvittää. Tämän lisäksi D3:ssa vaaditaan varustamaan rakennukset sähkönmittauksella, lämmitysjärjestelmän ostoenergian kulutuksen mittauksella, lämpimän käyttöveden kulutuksen mittauksella muissa kuin luokan 1 rakennuksissa sekä ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmän sähkönkulutuksen mittauksella muissa kuin luokan 1 rakennuksissa.

Aktiivinen rakennuksen energiankulutuksen ja olosuhteiden seuranta ja raportointi ovat perusedellytys sille, että rakennusta voidaan jatkuvasti käyttää ja ylläpitää energiatehokkaasti. Esimerkiksi valaistukseen tai jäähdytykseen käytettävän energian kulutuksen seuranta on määriteltävä jo suunnitteluvaiheessa, koska se vaikuttaa sähköjärjestelmien syötön suunnitteluun ja koska perinteisesti kulutuksia seurataan vain lämmitysenergian, sähköenergian ja veden kulutuksen osalta. Energiankulutustiedot on myös syytä liittää rakennusautomaatiojärjestelmään väyläpohjaisesti, koska silloin kerättyjä tietoja voidaan käyttää välittömästi ohjaustarpeisiin tai ne voidaan välittää kiinteistön huollosta tai käytöstä vastaaville tahoille. Kerättyjen tietojen perusteella tehtäviä toimenpiteitä tulee mahdollisuuksien mukaan automatisoida, jotta järjestelmistä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty. (ST 21.32.)

2.4 Valaistukseen käytettävän energian säästöpotentiaali

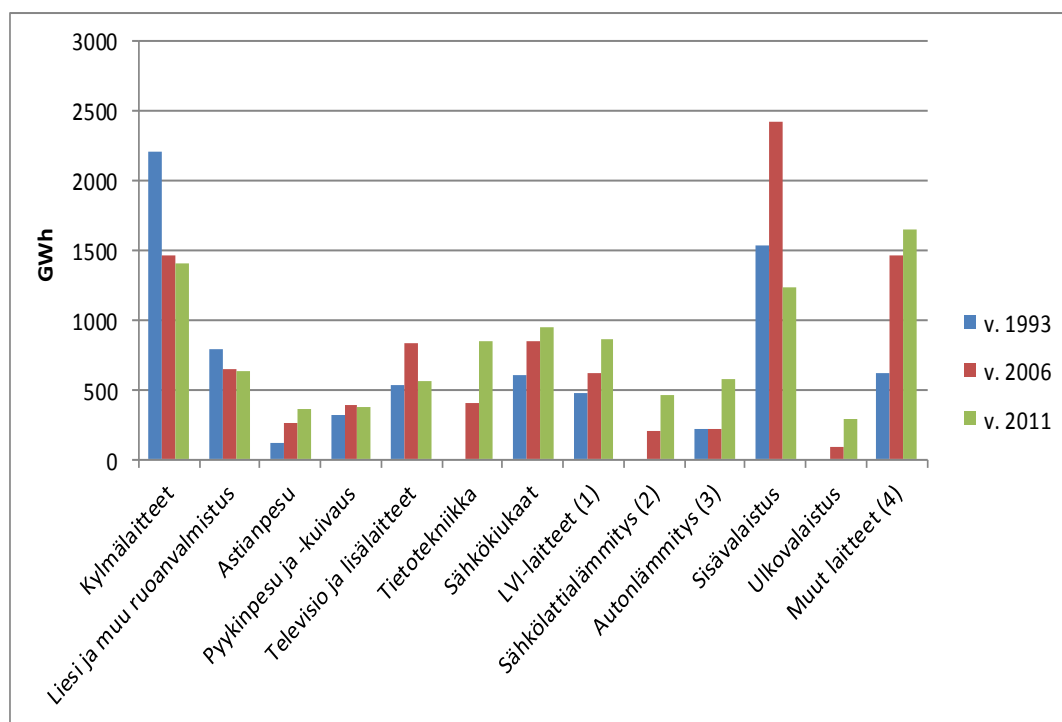
Kotitalouksien sähkönkäyttöraportti 2006 antaa hyvän kuvan siitä, mihin kotitalouksien sähkönkäyttö painottuu. Kotitalouksien sähkönkäyttöraportti 2011 päivittää sähkönkäyttöraporttiin uudempaa dataa. Taulukossa 1 esitetty valaistuksen kulutusosuus on pysynyt noin 20 %:ssa vuodesta 1996 vuoteen 2006, mutta koska muiden laiteryhmiin kulu on suhteellisesti laskenut, valaistus oli vuonna 2006 kulutukseltaan suurin laiteryhmä Suomessa. Vuonna 2011 valaistuksen osuus kotitalouksien laitesähkökäytössä on laskenut jo alle 15 %:iin, eli oikeaan suuntaan ollaan menossa. Valaistuksen sähkönkäytön väheneminen selittyy energiansäästö- eli pienloistelamppujen sekä ledlamppujen ja valaisimien lisääntymisellä sekä syyskuussa 2009 voimaantulleella asetuksella jolla kielletään vaihteittain energiatehokkuudeltaan huonojen kotitalouslamppujen markkinoillesaattaminen koko EU:n alueella.

TAULUKKO 1. Kotitaloussähkön käyttö laiteryhmittäin (Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006, muokattu; Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011, muokattu).

Laiteryhmä	1993 GWh		2006 GWh		2011 GWh	
Kylmälaitteet	2215	30 %	1461	15 %	1410	14 %
Liesi ja muu ruoanvalmistus	796	11 %	653	7 %	632	6 %
Astianpesu	125	2 %	261	3 %	367	4 %
Pyykinpesu ja -kuivaus	316	4 %	391	4 %	373	4 %
Televisio ja lisälaitteet	537	7 %	834	8 %	564	6 %
Tietotekniikka		0 %	407	4 %	848	8 %
Sähkökiukaat	606	8 %	852	9 %	948	9 %
LVI-laitteet (1)	483	6 %	621	6 %	861	8 %
Sähkölattialämmitys (2)	0	0 %	206	2 %	464	5 %
Autonlämmitys (3)	226	3 %	215	2 %	571	6 %
Sisävalaistus	1541	21 %	2427	25 %	1230	12 %
Ulkovalaistus		0 %	85	1 %	290	3 %
Muut laitteet (4)	623	8 %	1468	15 %	1649	16 %
Yhteensä	7468	100 %	9881	100 %	10207	100 %

- 1) koneellinen ilmanvaihto, kiertovesipumput, lämmönjakokeskukset
2) pois lukien sähkölämmitteiset talot
3) pois lukien kerros- ja rivitalot
4) muut laitteet mukaan lukien ei sähkölämmitteisten talojen sähkölämmitystä

Taulukon 1 kotitaloussähkön käyttö on esitetty laiteryhmittäin myös kuviossa 1.



KUVIO 1. Kotitaloussähkön käyttö laiteryhmittäin.

Valaistukseen käytetyn sähkön lisääntyminen vuoteen 2006 johtuu varmasti siitä, että ennen ihmisille riitti hehkulamppu keskellä huonetta yleisvalaistukseksi. Nykyään on alettu miettiä esteettisiä asioita sekä näkemisen että visuaalisuudenkin kannalta. Valaistuksen trendejä, Kotitalouksien sähkönkäyttöraportin mukaan, ovatkin lamppujen määrän kasvu kotitaloutta kohti, valaistustason paraneminen ja pienloistelamppujen määrän kasvu.

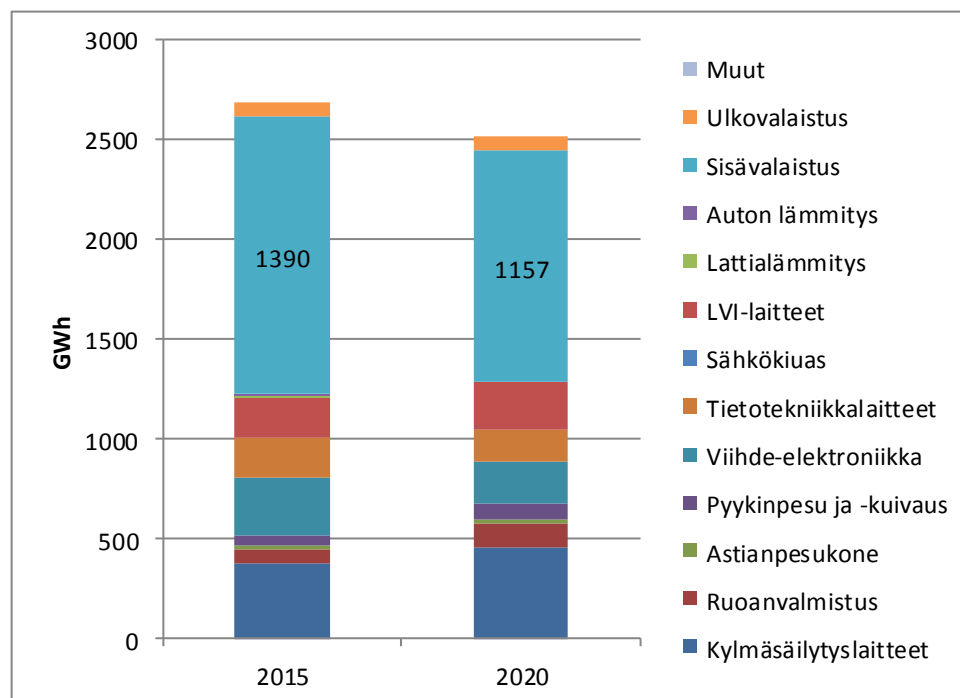
Kotitalouksien sähkönkäyttöraportissa on arvioitu säästöpotentiaalia BAU- ja BAT-skenaarioiden sekä valtakunnan tason kulutusennusteiden avulla. Suurimmat säästöpotentiaalit ovat kulutusosuudeltaan suurimmissa laiteryhmissä, eli valaistuksessa, kylmäsäilytyksessä ja viihde-elektronikassa. Kuten taulukosta 2 on havaittavissa, valaistuksen osuus säästöpotentiaalista on yli puolet.

TAULUKKO 2. Kotitaloussähkön jakaumat vuosina 2006, 2015 ja 2020 sekä tekniset säästöpotentiaalit vuosina 2015 ja 2020 (Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006, muokattu).

		BAU	BAT	BAU	BAT	Säästöpotentiaali	
	2006	2015	2015	2020	2020	2015	2020
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
Kylmäsäilytyslaitteet	1461	1405	1028	1227	767	377	460
Ruoanvalmistus	653	683	618	693	577	65	116
Astianpesukone	261	288	266	290	268	22	22
Pyykinpesu ja -kuivaus	391	412	357	423	347	55	76
Viihde-elektronikka	834	1177	888	1076	860	289	216
Tietotekniikkalaitteet	407	323	121	240	87	202	153
Sähkökiuas	852	930	930	971	971	0	0
LVI-laitteet (1)	621	741	545	809	566	196	243
Lattialämmitys	206	221	211	227	227	10	0
Auton lämmitys	215	221	211	225	225	10	0
Sisävalaistus	2427	2233	843	2002	845	1390	1157
Ulkovalaistus	85	95	21	99	22	74	77
Muut	1468	2600	2600	2650	2650	0	0
Yhteensä	9881	11329	8639	10932	8412	2690	2520

Sisävalaistuksen sähkönkulutus alenee molemmissa skenaarioissa jo vuoteen 2015 mennessä pienloistelamppujen yleistyessä, vaikka lamppujen määrän oletettiin samalla kasvavan. BAT-skenaariossa oletettiin, että kaikki hehkulamput vaihdetaan pienloistelamppuihin ja että LED-valot korvaavat ainakin osittain halogeenilamput uusissa asunnoissa vuodesta 2015 lähtien. (Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006.)

Säästöpotentiaalit vuosille 2015 ja 2020 on esitetty myös kuviossa 2. Kuviosta näkee erittäin selkeästi valaistuksen suuren säästöpotentiaalin verrattuna muihin laiteryhmiin.



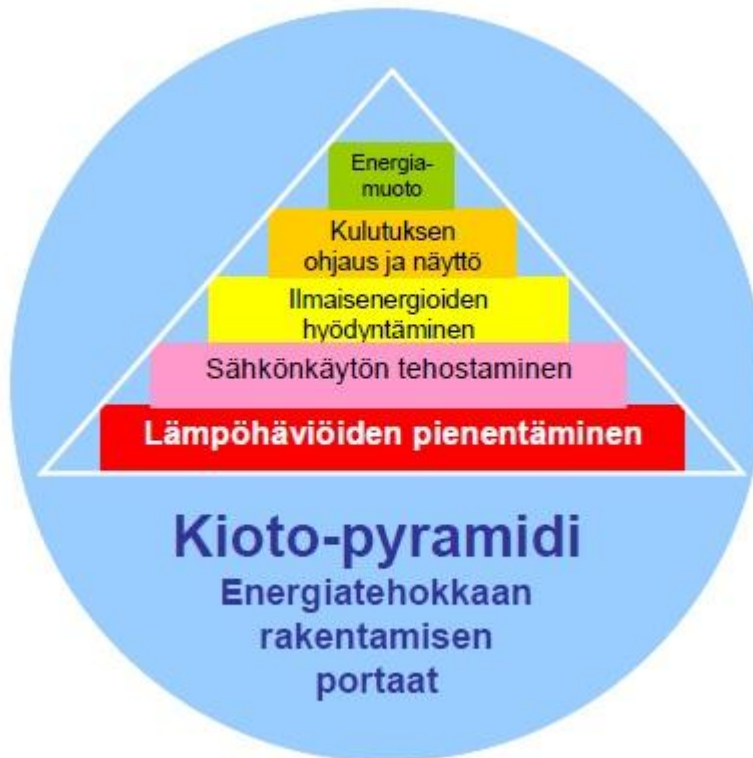
KUVIO 2. Säästöpotentiaaliarvot vuosille 2015 ja 2020 (Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006).

3 RAKENNUSTEN AUTOMAATION VAIKUTUS ENERGIATEHOKKUUTEEN

Rakennusten automaation merkitys energiatehokkuuden työkaluna on suuri, mutta rakennusten automaatioon liittyvät määräykset, ohjeet ja selostukset ovat kuitenkin leväällä muiden määräysten seassa. SFS-EN 15232, *'Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusautomaation, säädön ja kiinteistönhoidon vaikutus energiatehokkuuteen'*, on ensimmäinen eurooppalainen standardi, joka käsittelee laajemmin rakennusten automaation vaikutusta energiatehokkuuteen. Se esittää luettelon toiminnoista, jonka perusteella rakennuksen automaation vaikutuksesta energiatehokkuuteen voidaan käydä keskustelua kiinteistön omistajan, suunnittelijan sekä käyttäjän kanssa. Se siis auttaa rakennuksen automaation tason määrittelyssä. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 3-4).

3.1 Energiatehokas rakennus

Energiatehokkaan rakentamisen kivijalka on yksinkertaisesti lämpöhäviöiden pienentäminen sekä itse rakennuksen että sen järjestelmien osalta. Tämä tarkoittaa paksuja ja tiiviitä seiniä, tehokasta lämmön talteenottoa ilmanvaihdesta ja ikkunoiden aurinkosuojauksista jäähdytystarpeen minimoimiseksi. Näiden jälkeen tulee sähkönkäytön tehostaminen, ilmaisen energioiden hyödyntäminen, kulutuksen ohjaus ja näyttö ja vasta viimeisenä alhaista energiankulutusta vastaavan energiantuotantomuodon valinta. Kuvassa 1 on esitetty edellä mainitut asiat Kioto-pyramidin avulla. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 6).



KUVA 1. Energiatehokkaan rakentamisen portaat (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 6).

3.2 Automaation rooli

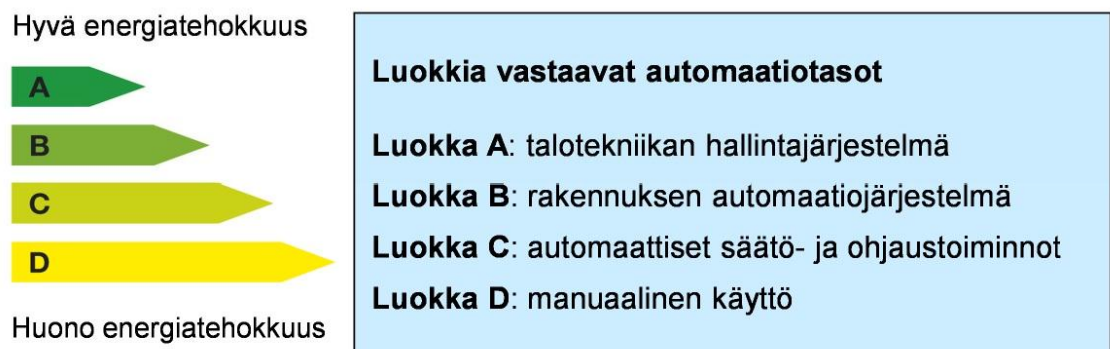
Varsinkin kuvan 1 kolmen keskimmäisen laatikon osa-alueilla on energiaa käyttävien laitteiden ohjauksella ja valvonnalla merkittävä rooli. Kun nämä energian tarvetta pienentävät toimenpiteet on tehty, voidaan arvioida energiankulutukseen sopivien energiamuotoja ja energiatuotantoratkaisuja. Taulukossa 3 on esitetty esimerkkejä kuvan 1 Kioto-pyramidin eri tasoihin liittyvistä automaatiotoiminnoista. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 7).

TAULUKKO 3. Esimerkkejä Kioto-pyramidin eri tasoihin liittyvistä automaatiotoiminnoista. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 7).

Kioto-pyramidin porras	Esimerkki rakennuksen automaation vaikutusmahdollisuudesta
Energiamuoto	Raportointi energialajeittain, kullakin hetkellä tehokkaimman energiamuodon valinta, rakennuksen E-luvun laskenta
Kulutuksen ohjaus ja näyttö	Huoneolosuhteiden säätö ja ohjaus, käyttölaitteet, laitteiden ja järjestelmien energiatehokas automaattinen käyttö
Ilmaisenergioiden hyödyntäminen	Lämmöntalteenoton ohjaus, vapaajäähdytys, dynaaminen lämmityksen ja jäähdytyksen ohjaus
Sähkönkäytön tehostaminen	Energiankäytön optimointi, tarpeenmukaiset olosuhteet tiloissa ja painetasot ilman ja veden siirrossa
Lämpöhäviöiden pienentäminen	Tarpeenmukaiset lämpötilatasot käyttöveden ja lämmitysveden siirrossa, aurinkosuojaus

3.3 Rakennusten automaation energiatehokkuusstandardin mukainen luokitus

Standardissa SFS-EN 15232 rakennuksen automaatio jaetaan neljään tehokkuusluokkaan kuvan 2 mukaan (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 8).



KUVA 2. Rakennuksen automaation tehokkuusluokat (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 8).

Tehokkuusluokan D rakennuksessa ei käytännössä ole automaatiota eikä siinä ole otettu huomioon energiatehokkuusasioita. Tehokkuusluokka D:n mukaiset järjestelmät tulisi

standardin mukaan perusparantaa tai -korjata ja uusia D-luokan järjestelmiä ei pitäisi rakentaa. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 9).

Tehokkuusluokan C rakennuksen automaatio vastaa rakentamismääräysvaatimuksiin kirjoitettua tasoa ja onkin siten minimitasona rakennuksen automaatiolle. Se on useimmiten toteutettu pääosin keskitetyillä ohjaus-, säätö- ja rakennusautomaatiojärjestelmillä. Toiminnot voi myös toteuttaa erillisillä säätö- ja ohjauslaitteilla. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 9).

Tehokkuusluokka B on Suomessa rakennuksen automaation suositustaso. Tehokkuusluokan B rakennuksen automaation edellytyksenä on, että rakennuksen automaatio on toteutettu rakennuksen automaatiojärjestelmällä ja tiettyjä säätö- ja ohjaustoiminnot on toteutettu tehokkuusluokkaa C paremmin. Esimerkiksi lämpötilasäätimet kommunikoi- vat keskitetyn ohjausratkaisun kanssa (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 9-11).

Tehokkuusluokka A on Suomessa rakennuksen automaation tavoitetaso. Tehokkuusluokan A rakennuksen automaatio on toteutettu usein monella järjestelmällä, jotka kykenevät laajasti hyödyntämään toistensa tuottamaa informaatiota. Tehokkuusluokan A laitteistolla voidaan esimerkiksi seurata tunti-, vuorokausi- ja kuukausitasolla rakennuksen sähkön- lämmön- ja vedenkulutusta, lukea järjestelmän tulostamia kulutusraportteja ja ohjata järjestelmän valittuja osia. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 10-11).

3.4 Automaatiotason valinta

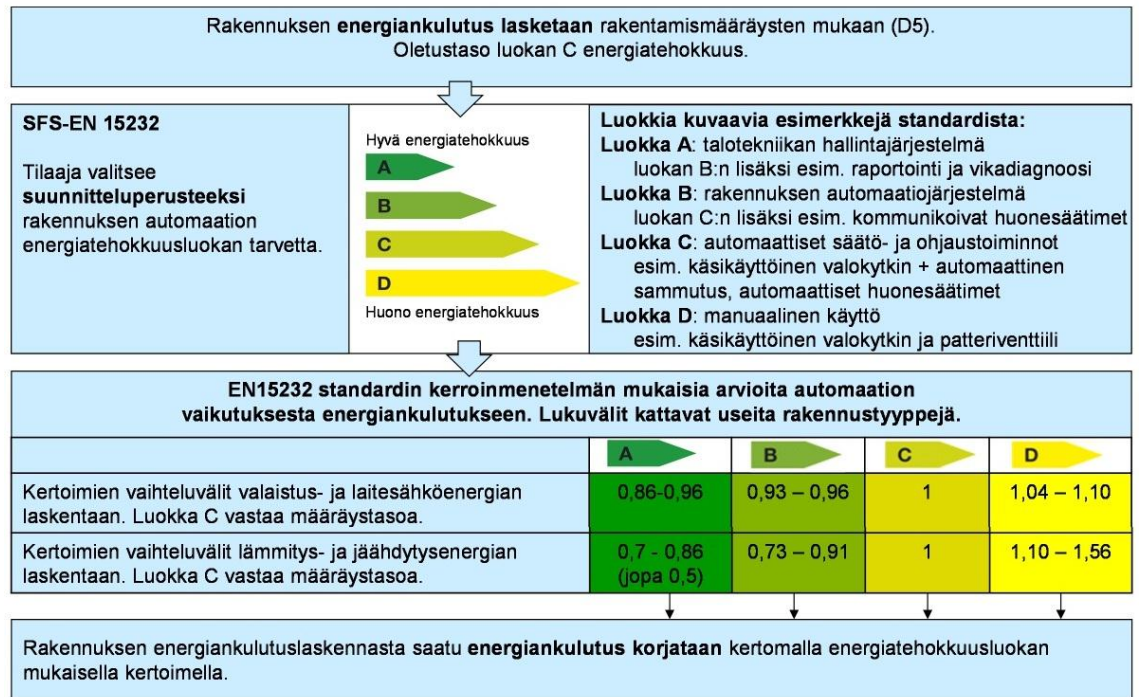
Automaatiovalintoja tehdään monesti tukemaan rakennuksen suunnittelussa tehtyjä periaatteellisia ratkaisuja ja valintoja, mutta automaatiolla on myös itsenäinen rooli rakennuksen käytössä. Kiinteistön omistaja voi myös asettaa vaatimuksia automaatiolle, ja tämän takia rakennuksen automaatiotason valintaan on syytä kiinnittää huomiota rakennuksen suunnitteluvaiheessa myös omana kokonaisuutenaan. Automaatio sinällään on asiana melko abstrakti ja monesti suunnittelijan ja kiinteistön omistajan välinen kom-

munikointi asiasta on vaikeaa. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 12).

Oppaan liitteenä olevassa automaatiotason valintatyökalussa on esitetty ns. kansankielisiä monivalintakysymyksiä kiinteistön omistajalle. Kysymysten avulla kartoitetaan kiinteistön omistajan toiveita automaation palvelutasosta ja energiansäästöstä. Kysymykset käsittelevät automaation roolia ja suhdetta käyttäjään, automaattisuuden tasoa ja käyttömukavuutta, automaatiota energiatehokkuuden työkaluna, tarpeettoman energiankulutuksen estämistä, ylimääräisten kuormittavien tekijöiden estämistä, ilmaisenergioiden hyödyntämistä ja häviöiden huomiointia. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 13).

3.5 Automaation vaikutus energiankulutukseen kerroinmenetelmällä

Kerroinmenetelmä on yksinkertainen ja nopea soveltaa. Kerroinmenetelmässä rakennusmääräyskokoelma D5:ssä esitetyllä tavalla laskettua energiankulutusta korjataan standardista SFS-EN 15232 saatavilla kertoimilla rakennuksen tyypin mukaan. Kerroinmenetelmä perustuu välillisesti simulointiin, sillä erityyppisten rakennusten kertoimet on laskettu simuloimalla tyypillisiä rakennuksia ja niiden käyttötapoja. Kuvassa 3 on esitetty rakennuksen automaation vaikutus energiankulutukseen kerroinmenetelmällä.



KUVA 3. Rakennuksen energiankulutuksen laskeminen automaation vaikutus huomioiden (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, 9).

4 VALAISTUKSEEN KÄYTETTÄVÄN ENERGIAN LASKEMINEN

Valaistuksen energiankulutus ilmoitetaan LENI -luvulla. Sen avulla voidaan vertailla käyttötarkoitukseltaan samanlaisten rakennusten valaistuksen energiankulutusta. Valaistuksen kuluttamaa tehoa on kahdenlaista: valaistuksen kuluttamaa tehoa valojen ollessa sytytettynä ja valaistuksen lepokulutusta, mikä muodostuu ohjausjärjestelmien käyttämisestä ja turvavalaistuksen akkujen varaamiseen tarvittavasta tehosta. Valaistuksen energiankulutus voidaan laskea kahdella menetelmällä; pikalaskentamenetelmällä ja tarkalla laskentamenetelmällä. LENI -luku saadaan laskettua jommankumman laskentatavan avulla yhtälöllä 1. (Fagerhult 2012, 512; SFS-EN 15193).

$$LENI = W/A \text{ [kWh/m}^2 \text{ , vuosi]} \quad (1)$$

missä

W on valaistukseen käytetty vuotuinen kokonaisenergia [kWh/vuosi]

A on valaistu huoneistoala [m^2]

4.1 Pikalaskentamenetelmä

Pikalaskentamenetelmää käytetään silloin, kun halutaan saada arvio koko rakennuksen vuosittaisesta energiankäytöstä. Menetelmää voidaan käyttää vain yleisesti esiintyvissä rakennustyypeissä ja sitä varten standardissa SFS-15193 on taulukoita, joista erityyppisten rakennusten vuosikohtaisia perustietoja voidaan ottaa. Pikalaskentamenetelmässä lepokulutus W_p on vakioitu arvoksi 6 kWh/m²/vuosi. Pikalaskentamenetelmää käytettäessä energiankulutukselle saadaan korkeammat LENI -luvut. (Fagerhult 2012, 512; SFS-EN 15193.) Valaistuksen energiankulutus lasketaan pikalaskentamenetelmällä yhtälöllä 2.

$$W = W_L + W_p = W_L + 6 \text{ kWh/m}^2 \text{ /vuosi} \quad (2)$$

missä

W on valaistukseen käytetty vuotuinen kokonaisenergia [kWh/vuosi]

W_L on valaistuksen toimintaan ja käyttötarkoitukseen tarvittava energia [kWh/vuosi]

W_P on valaistuksen ohjausjärjestelmien valmiustilojen lepokulutukseen ja turvavalais-
tuksen akkujen varaamiseen tarvittava energia [kWh/vuosi]

4.2 Tarkka laskentamenetelmä

Tarkka laskentamenetelmä perustuu rakennuksen jokaisen huoneen todellisiin arvoihin ja sitä voidaan käyttää kaikenlaisien rakennusten arviointiin maantieteellisestä sijainnista huolimatta. Tarkalla laskentamenetelmällä voidaan laskea myös muun kuin vuoden ajanjakson energiankäyttö, mikäli käytössä on laskelma rakennuksen läsnäoloajoista ja päivänvalon saannista. (Fagerhult 2012, 512; SFS-EN 15193.) Valaistuksen energiankulutus lasketaan tarkalla laskentamenetelmällä yhtälöllä 3.

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \text{ [kWh]} \quad (3)$$

missä

W_t on huoneen tai alueen kuluttama kokonaisenergia tietyssä ajanjaksona [kWh/aika]

$W_{L,t}$ on valaistuksen toimintaan ja käyttötarkoitukseen tarvittava energia tietyssä ajanjaksona (yhtälö 4) [kWh/aika]

$W_{P,t}$ on valaistuksen ohjausjärjestelmien valmiustilojen lepokulutukseen ja turvavalais-
tuksen akkujen varaamiseen tarvittava energia tietyssä ajanjaksona (yhtälö 5)
[kWh/aika]

Yhtälöstä 4 käy ilmi mistä osista $W_{L,t}$ koostuu.

$$W_{L,t} = \sum \{ (P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_D)] \} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (4)$$

missä

P_n on valaistuksen asennettu kokonaisteho huoneessa tai tietyllä alueella [W]

F_c on ylimitoituksen kompensointikerroin, kun vakiovalaistusvoimakkuuden säätö on
käytössä huoneessa tai tietyllä alueella

t_D on valaistuksen käyttöaika, jolloin päivänvaloa on käytettävissä [tunti]

F_o on läsnäolokerroin

F_D on päivänvalon riippuvuuskerroin

t_N on valaistuksen käyttöaika, jolloin päivänvaloa ei ole käytettävissä [tunti]

Yhtälöstä 5 käy ilmi mistä osista $W_{P,t}$ koostuu.

$$W_{P,t} = \sum \left\{ \left(P_{pc} \times [t_y - (t_D + t_N)] \right) \right\} + (P_{em} \times t_{em}) / 1000 \text{ [kWh]} \quad (5)$$

missä

P_{pc} on huoneessa tai tietyllä alueella olevien valaistuksen ohjausjärjestelmien lepokulutus [W]

t_y on vuoden ajanjaksoa kuvaava aika, 8760 h

t_D on valaistuksen käyttöaika, jolloin päivänvaloa on käytettävissä [tunti]

t_N on valaistuksen käyttöaika, jolloin päivänvaloa ei ole käytettävissä [tunti]

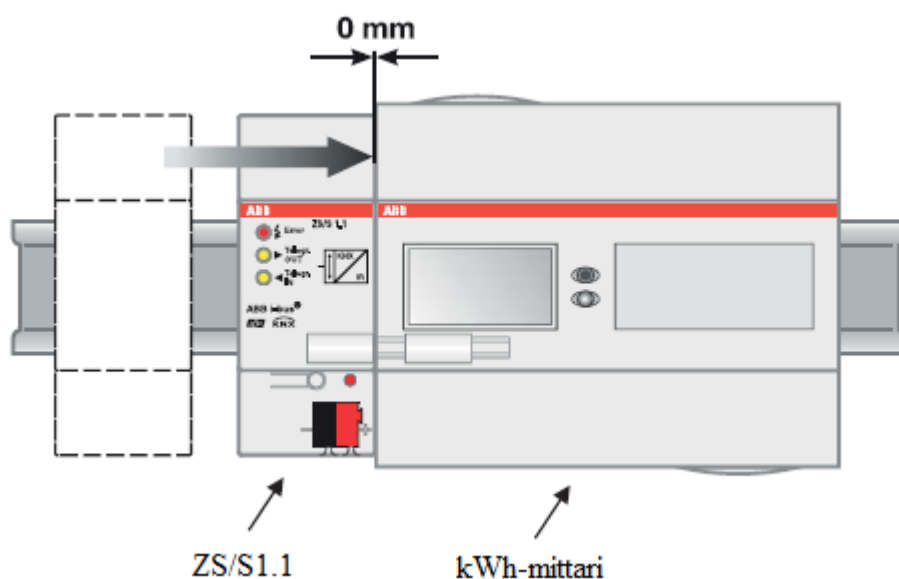
P_{em} on huoneessa tai tietyllä alueella olevien turvavalaisuksen akkujen kokonaisvaraus-teho [W]

t_{em} on toimintatunnit, joiden aikana turvavalaisuksen akut ladataan [tunti]

5 MITEN VALAISTUKSEN ENERGIAN KULUTUSTA MITATAAN

Tässä osiossa käydään läpi standardissa SFS-EN 15193 säädettyjen valaistuksen energiankulutuksen mittaamismenetelmien sovellutusesimerkkejä. Kuten ST 21.32- käsikirjassa sanotaan, energiankulutustiedot on syytä liittää rakennusautomaatiojärjestelmään väyläpohjaisesti, jotta tietoja voidaan käyttää välittömästi ohjaustarpeisiin tai ne voidaan välittää kiinteistön huollosta tai käytöstä vastaaville tahoille.

Esimerkiksi ABB:n energiamittarit ODIN ja DELTAplus on mahdollista liittää rakennusautomaatiojärjestelmään käyttämällä ZS/S1.1 KNX-liityntää. ZS/S1.1 asennetaan kuvan 4 osoittamalla tavalla ODIN tai DELTAplus kWh-mittarin viereen, josta se lukee infrapunasensorin avulla energiankulutus-, virta-, jännite-, taajuus- ja tehokerrointitietoja. (ABB 2009).

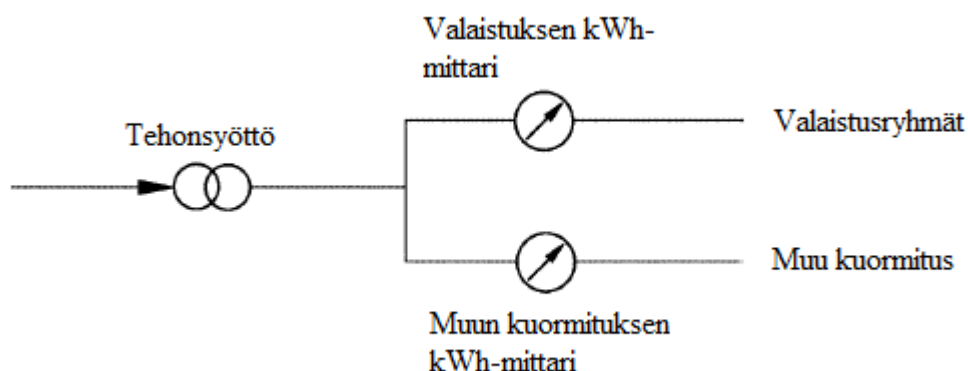


KUVA 4. ZS/S1.1 asentaminen yhteensopivan kWh-mittarin kanssa (ABB 2009).

KNX-väylästä tietoa saa kolmella tavalla: suoraan väylään liitettävällä ohjauspaneelilla, USB-portin välityksellä PC:lle sekä TCP/IP-gatewayn välityksellä PC:lle. OPC serverin kautta tiedon voi siirtää valvomosovellukseen tai muuhun käyttöliittymään.

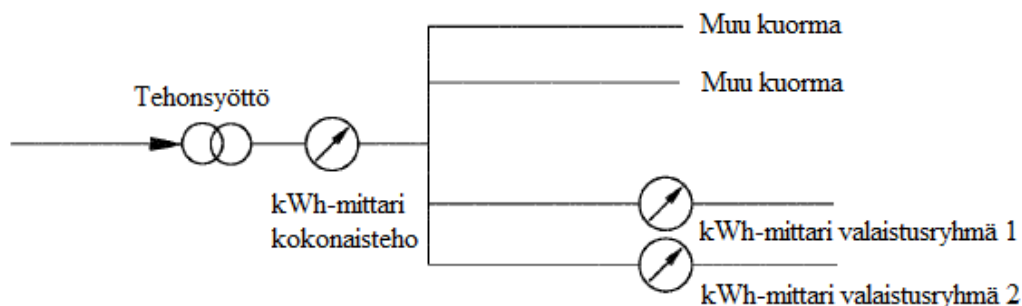
5.1 Mittaaminen kWh-mittarilla asennuksen syöttöpisteestä

Yksinkertaisimmillaan valaistuksen energiankulutusta mittaava kWh mittari asennetaan rinnan kytkettynä muun kuorman energiankulutusta mittaavan kWh-mittarin kanssa kuvassa 5 esitetyllä tavalla. Näin toteutettuna rakennuksen kokonaisenergiankulutus saadaan summaamalla mittareiden lukemat. (SFS-EN 15193).



KUVA 5. Valaistukseen kuluvan energian mittaaminen (SFS-EN 15193).

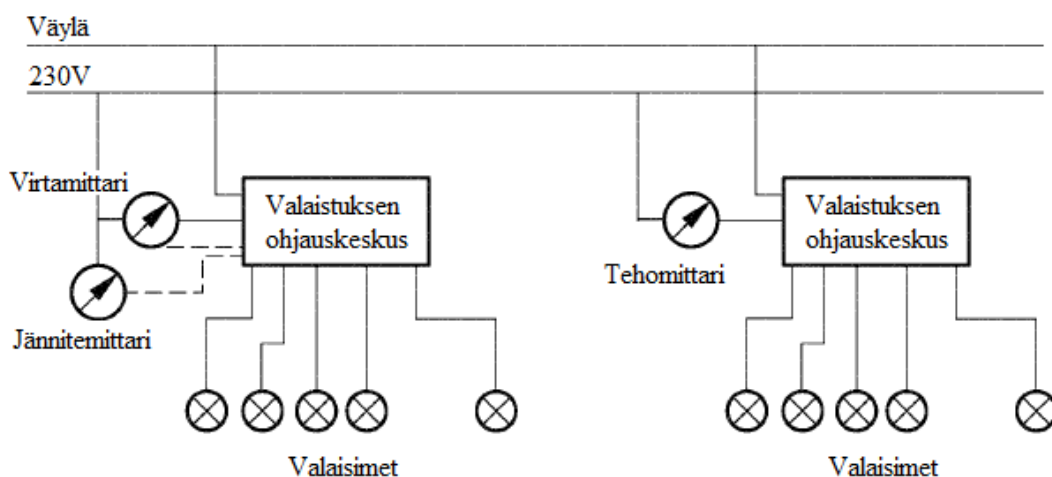
Kuvan 6 esimerkissä eri alueita mittaavat kWh-mittarit kytketään sarjaan koko rakennuksen energiaa mittaavan kWh-mittarin kanssa. Näin toteutettuna rakennuksen kokonaisenergiaa mittaavan kWh-mittarin lukemaan sisältyy siis myös valaistuksen energiankulutus. (SFS-EN 15193).



KUVA 6. Valaistukseen kuluvan energian mittaaminen alueittain (SFS-EN 15193).

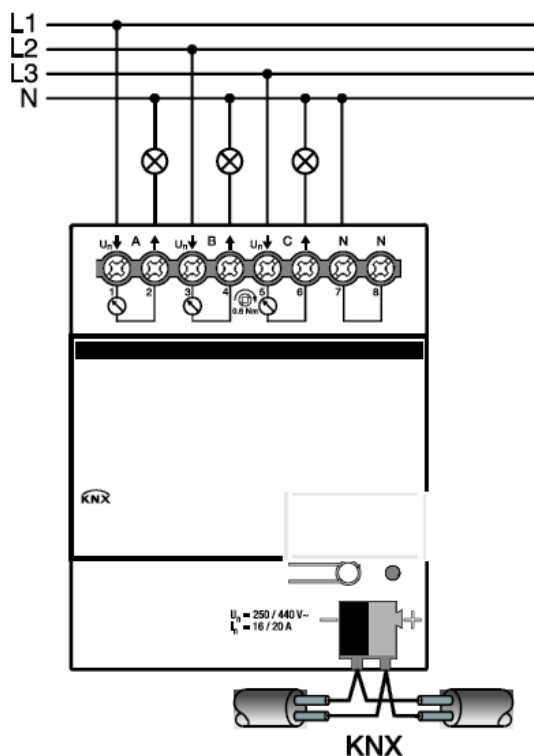
5.2 Mittaaminen ohjausjärjestelmän säätimiin integroiduilla tai niihin kytketyillä paikallisilla tehomittareilla.

Paikalliset jännite- ja virtamittarit tai tehomittarit kytketään tai integroidaan valaistuksen ohjausjärjestelmään. Kuvassa 7 jännite- ja virtamittarit tai tehomittarit kytketään jokaisen valaistuksen ohjauskeskuksen syöttöön. Ohjausjärjestelmä laskee paikallisesti kulutetun energian integroimalla mittausarvot ajan suhteen ja toimittaa arvot väylää pitkin ohjausjärjestelmän tai rakennusautomaation keskustietokoneelle. Keskustietokone käsittelee tiedon ja esittää energiankulutusarvot esimerkiksi taulukkolaskentatiedostona vyöhykkeittäin kuukautta tai vuotta kohden. (SFS-EN 15193).



KUVA 7. Valaistuksen ohjausjärjestelmän sisääntuloihin kytketty mittaus (SFS-EN 15193).

Paikallisen mittauksen voi tehdä myös ABB:n KNX-energiamittausmoduulilla EM/S 3.16.1. kuvan 8 mukaisesti. Tällöin tiedot energiankulutuksesta menevät suoraan mittausmoduulilta keskustietokoneelle. (ABB 2012c).



KUVA 8. Valaistuksen energiamittaus ABB:n KNX energiamittausmoduulilla EM/S 3.16.1 (ABB 2012c).

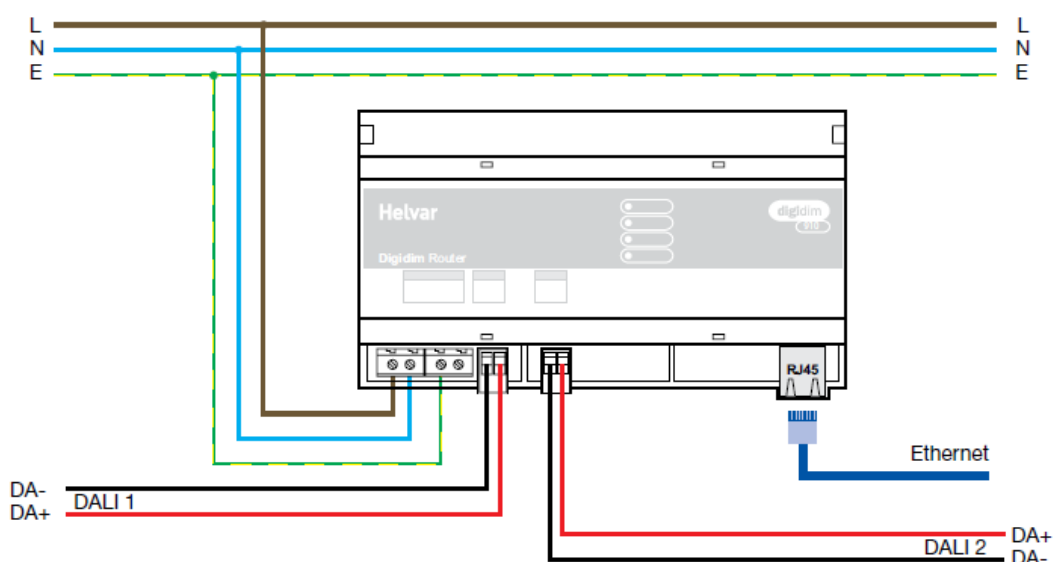
5.3 Mittaaminen ohjausjärjestelmällä

Mittaaminen ohjausjärjestelmällä jaetaan standardissa SFS-EN 15193 kolmeen osaan.

- Mittaaminen ohjausjärjestelmällä, joka kykenee laskemaan paikallisesti kulutetun energian ja kykenee toimittamaan informaation rakennusautomaatiojärjestelmälle.
- Mittaaminen ohjausjärjestelmällä, joka kykenee laskemaan kulutetun energian rakennuksen tiettyä osa-aluetta kohti ja kykenee muokkaamaan informaation siirtokelpoiseen muotoon.
- Mittaaminen ohjausjärjestelmällä, joka rekisteröi käyttöajan, himmennystason ja vertaa tätä järjestelmän tietokantaan tallennettuun tietoon asennuksen kokonaistehosta.

Ohjausjärjestelmillä mittaaminen on käsitelty työssä yhtenä kokonaisuutena, koska ohjausjärjestelmien yhdistelyllä tai integroinnilla rakennusautomaatiojärjestelmään on mahdollista saavuttaa kaikki kolme mittaustapaa.

DALI-valaistuksenohjausjärjestelmällä toteutetuissa kohteissa erittäin kätevä tapa mitata valaistuksen energiankulutusta on Helvarin Digidim-reititinjärjestelmä. Se mahdollistaa energianmittauksen jopa valaisinkohtaisesti, koska DALI on järjestelmänä osoitteellinen. Yhteen reitittimeen voidaan kytkeä mallista riippuen joko 64 tai 128 DALI-laitetta. Kuvassa 9 Helvarin Digidim 910-reitittimen kytkentä verkkovirtaan sekä DALI-verkkoon. Reititin toimii samalla DALI-järjestelmän virtalähteenä, eli erillistä virtalähdettä ei tarvita. (Fagerhult 2012, 477; Helvar 2011)

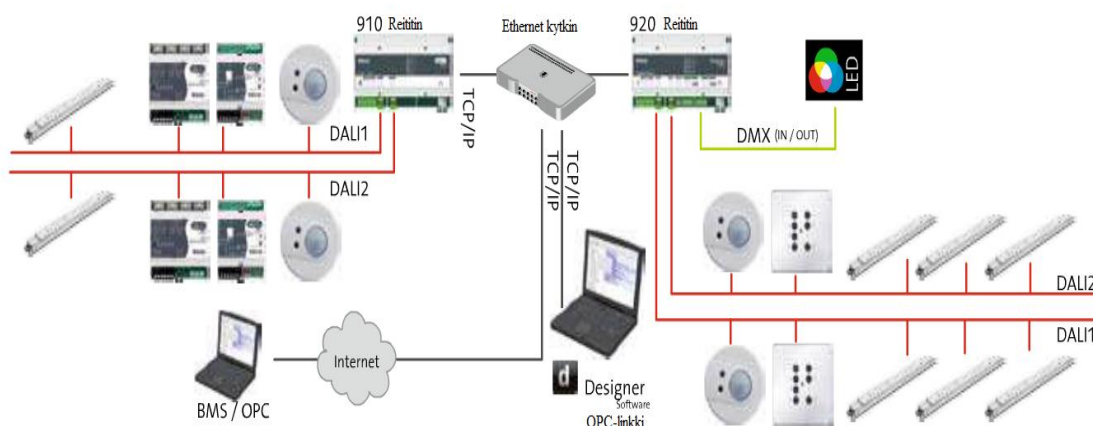


KUVA 9. Helvarin Digidim 910- reitittimen kytkentä (Helvar 2011).

Reitittimiä voidaan kytkeä yhteen DALI-järjestelmään yli 100, joten yhteen järjestelmään voidaan kytkeä kaikkiaan yli 12800 DALI-laitetta. Reitittimet kytketään toisiinsa Ethernet-portin ja Ethernet-kytkimen avulla. Digidim-järjestelmät ohjelmoidaan Helvarin omalla Designer-ohjelmalla, jota käytetään paikallisen tai etäohjaavan Windows-tietokoneen kautta. Designer sisältää myös järjestelmän tapahtumien valvonnan ja tietojen keruun. Sen avulla voidaan myös tuottaa raportteja esimerkiksi energiankulutuksesta. Designer-ohjelmistoon voidaan lisätä OPC-palvelin, joka mahdollistaa reititinjärjestelmän ja rakennusautomaatiojärjestelmän vuorovaikutteisen ohjauksen ja tiedonsiirron.

Tämän lisäksi tarvitaan PC jossa on OPC Server –ohjelma ja valvomo-ohjelma joka esittää aktiivisen datan tai historiatiedot. (Fagerhult 2012, 477; Helvar 2011.)

Kuvassa 10 on esitetty esimerkkikytkentä usean reitittimen järjestelmästä.



KUVA 10. Esimerkkikytkentä usean reitittimen järjestelmästä (Helvar 2011).

Jos valaistusta ohjataan suoraan KNX-järjestelmällä, valaistukseen käytettävän energian mittaus onnistuu myös käyttämällä ABB:n KNX kytkinyksikköä energianmittauksella, mallinimeltään SE/S3.16.1. Se mahdollistaa aktiivisen energiankulutuksen seurannan erikseen kunkin kytkinlähdön osalta sekä kaikkien kolmen lähdön kokonaiskulutuksen seurannan. Kaikista kanavista voidaan mitata aktiivinen teho, virta ja jännite sekä näennäisteho, tehokerroin ja taajuus. Arvoja valvomalla ja ohjaamalla voidaan raja-arvojen mukaisesti suorittaa toimenpiteitä kuten hälytyksiä tai kuormien ohjauksia. (ABB 2012a, 10.) Kuvassa 11 on esitetty ABB:n kytkinyksikkö SE/S3.16.1 kytkentä KNX-järjestelmään ja kuormiin.

6 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutkittiin valaistuksen energiamittaukseen liittyviä aihealueita energia-tehokkuus-säädöksistä erilaisiin valaistuksen energiamittaustapoihin. Tavoitteena oli kerätä tietoa valaistuksen energiamittauksesta ja sen nykytilasta.

Standardissa SFS-EN 15193 määrätään valaistuksen energiamittaukseen mittaustavat, mutta koska suoranasia vaatimuksia valaistuksen energiamittaukselle ei Suomessa ole, motivaatio valaistuksen energiamittaukseen täytyy löytyä taloudelliselta tai ekologiselta puolelta.

Vaikka valaistuksen energiankulutuksen osuus laitesähkönkäytössä on pudonnut kymmenen prosenttiyksikköä vuodesta 2006 vuoteen 2011 muun muassa hehkulamppujen käytön vähentymisen johdosta, valaistuksen energiamittauksen tarpeellisuus on silti ilmeistä. Valaistuksen osuus kotitalouksien laitesähkönkäytöstä on silti viisitoista prosenttia.

Jotta valaistuksen energiamittauksesta olisi hyötyä, tulokset tulee saattaa suppeammissa järjestelmissä loppukäyttäjän saataville ja laajemmassa järjestelmässä huoltohenkilöstön saataville. Valaistuksen energiamittaus on siis lähes poikkeuksetta syytä liittää rakennusautomaatiojärjestelmään. Mittaustuloksista on oltava saatavilla raportit halutuina aikavälein, ja laajemmissa järjestelmissä mittauslaitteiston on myös kommunikoitava rakennusautomaation kanssa, jotta mahdolliset valaistuksen säätö- ja ohjaustoimenpiteet ovat mahdollisia.

Jos valaistuksen energiamittaus määrätään tulevaisuudessa pakolliseksi, laitevalmistajat alkavat varmasti kehittämään ja tarjoamaan enemmän valmiita ratkaisuja juuri valaistuksen energiamittaukseen.

Työn ongelmaksi muodostui välillisesti määräysten puute valaistuksen energiamittauksen osalta, koska tietoa aiheesta oli hyvin vähän ja vaikeasti saatavilla.

LÄHTEET

ABB. 2009. KNX Meter Interface Module ZS/S 1.1. Käyttöohje.

ABB. 2012a. KNX-taloautomaatio. Tuoteluettelo 2012.

ABB. 2012b. KNX Energy Actuator SE/S 3.16.1. Käyttöohje

ABB. 2012c. KNX Energy Module EM/S 3.16.1. Käyttöohje

Energiatehokas valaistus. Suomen valoteknillinen seura.

http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas_valaistus.pdf

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. 2010.

Fagerhult. Energiadirektiivi. [www-sivu] Luettu 5.4.2012.

<http://www.fagerhult.fi/indoor/planering/energidirektivet/default.asp>

Fagerhult. 2012. Indoor lightning solutions. Luettelo 2012–2013.

Helvar. 2011. Helvar reititinjärjestelmät. Luettelo.

Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006. 2008. Tutkimusraportti. Adato.

Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. 2013. Tutkimusraportti. Adato.

Suomen standardoimisliitto SFS ry. SFS-EN 12464–1:2011. Valo ja valaistus.

Suomen standardoimisliitto SFS ry. SFS-EN 15193:2008. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus.

Sähkötieto ry. 2012. ST 21.32. Rakennusten energiatehokkuusvaatimusten huomioonottaminen sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien suunnittelussa.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2012. Energiatehokkuus. [www-sivu] Luettu 5.4.2012.
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=2586>

Ympäristöhallinto. 2011. Energiatehokkuus. [www-sivu] Luettu 5.4.2012.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=2194>

Ympäristöministeriö. Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen. Perusteet ja opas 2012.

Ympäristöministeriö. Suomen rakennusmääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012.